

A ROBBANTÓ MÉLYHÚZÁS ALAKÍTÓ IMPULZUSÁNAK FORMÁLÁSA REFLEKTOROK SEGÍTSÉGÉVEL

SUSÁNSZKY Zoltán

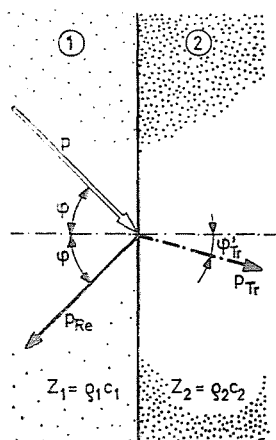
Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
Mechanika Tanszék

A robbanóanyagok energiáját fémalakításra felhasználó eljárások alapvető problémája a technológia alacsony mechanikai határfoka és a detonációs lökeshullámok környezetkárosító hatása. E kedvezőtlen jellemzők javítására az utóbbi években — néhány magyar kutatóhely munkájának eredményeként is — egyre inkább elterjed a detonációs alakítóimpulzus reflektorokkal történő irányítása. A megfelelő formájú és szilárdságú tükör egyrészt az eddig szét-sugárzott energiahányadot is a munkadarabra irányítja és hasznos munkavégzésre fordítja, másrészt éppen ezáltal a környezet dinamikus terhelését csökkenti. A gyakorlati alkalmazás során a környezet védelme a hagyományos robbantó technológiával szemben valóban lényegesen nagyobb mértékben megvalósul, a technológiai hatások javulása azonban eddig nem érte el az elméletileg számított és várt értéket. A jelenség okainak lehetőség szerinti feltárására Magyarországon a Mechanika Tanszéken végeztünk műszeres méréseket és elméleti vizsgálatokat. Ezek keretén belül a detonációs energiát közvetítő, és a tulajdonképpeni alakítást végző lökeshullámok reflexiók sajátságainak részleteiből meghatározására és néhány, gyakorlatilag fontos reflektoranyag bemérésére került sor. Vizsgálati eredményeinket az alábbiakban foglaljuk össze.

Az irányított energiaközlés a lökeshullámok — mint nagyfrekvenciás impulzusok — tükrözhetőségére épül. Robbantások során mind csúcsnyomás, mind időtartam tekintetében több nagyságrend eltérésű lökeshullámokat lehet előállítani, a fémalakító technológia azonban ezekből csak a néhány tíz bar-tól a mintegy 2000 bar-ig terjedő nyomásintervallumot és az 50—150 μ s hatásidőtartományt képes hasznosítani. Ismeretes, hogy az ilyen karakterű impulzusok közeghatárra érve az akusztikai hullámokhoz hasonlóan részben tükröződnek, részben átlépnek a közeghatáron és az új közegben terjednek tovább. Az így előálló két komponens csúcsnyomása

$$p_{re} = p_{\max} \frac{\varrho_2 c_2 \cos \varphi - \varrho_1 c_1 \cos \varphi'}{\varrho_2 c_2 \cos \varphi + \varrho_1 c_1 \cos \varphi'} \quad \text{ill.} \quad (1)$$

$$p_{tr} = p_{\max} \frac{2\varrho_2 c_2}{\varrho_2 c_2 \cos \varphi + \varrho_1 c_1 \cos \varphi'} \quad (2)$$



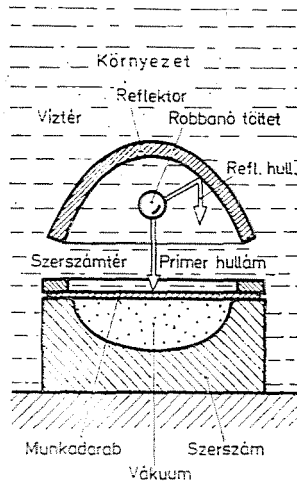
1. ábra

ahol p_{re} a tükrözött, p_{tr} az átlépő (transmitted) és p_{max} a beeső hullám csúcsnyomása, ρ_n és c_n a közeg sűrűsége, ill. jellemző akusztikai sebessége, φ a beesési és φ' a törési szög (1. ábra). Az egyszerűbb kezelés érdekében célszerű egységnyi csúcsnyomású, merőlegesen beeső impulzust vizsgálni (ahol $\varphi = \varphi' = 0$, ill. $\cos \varphi = \cos \varphi' = 1$), továbbá képezni a $\rho_n \cdot c_n = Z_n$ szorzatot, az ún. akusztikai hullámellenállást (impedanciát). Ezekkel az (1) és (2) összefüggés a rendkívül egyszerű

$$p_{re} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (3), \quad \text{ill.} \quad p_{tr} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

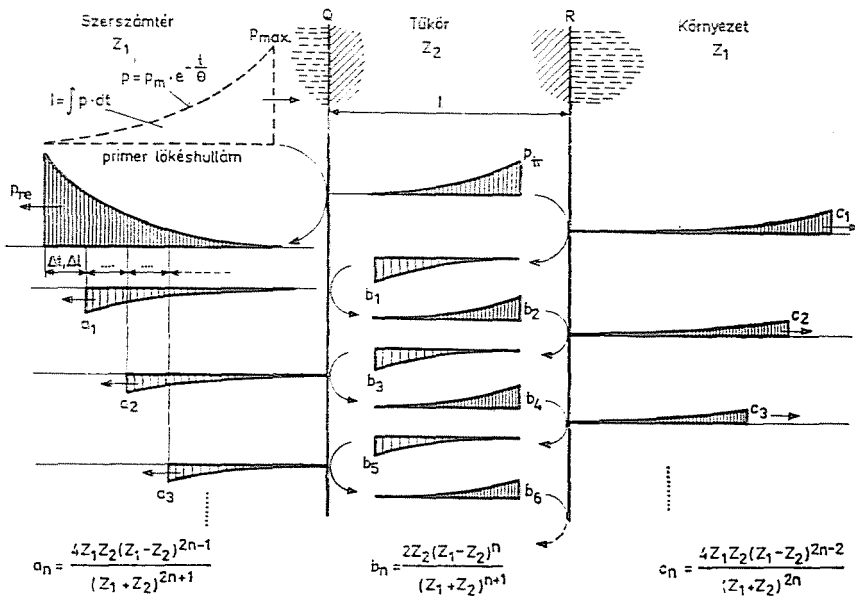
alakra hozható. Az alakítás hatásfoka szempontjából a visszanyerhető energiahányadot meghatározó (3) összefüggésnek van különös jelentősége. Látható, hogy a p_{re} nyomásszint annál magasabb, minél nagyobb a munkatér és a tükrő anyagának impedancia-különbsége.

Az alakítási folyamat a technológia legtöbb változatánál ui. általában a 2. ábra szerinti elrendezésben víz alatt zajlik le, mivel ez a közeg a munkatérben a detonációs energiát igen jó hatásfokkal közvetíti a munkadarabra. Reflektoranyagként célszerűen a nagy hullámellenállású szerkezeti anyagok vehetők számításba. Fontosabb reflexiók jellemzőik az I. táblázatban találhatók. Az 5. oszlopban a tükrözött, és ezáltal a munkadarabra (általában mélyhúzólemezre) irányított lökéshullámok csúcsnyomása szerepel a beeső, primer hullám nyomásszázalékában. A (3) összefüggés alapján számított reflexiók hatásfok szembetűnően magas, így várható volt, hogy a tükrözött impulzusok munkavégzőképessége is ($I = \int p \cdot dt = \int p_{max} \cdot e^{-t/\theta}$) hasonló kedvező szintet ér el. A robbantó gyakorlat azonban azt bizonyította, hogy a csúcsnyomás ugyan valóban



2. ábra

eléri a fenti elméleti értéket, az effektív *munkavégzőképesség* azonban a számított szintnek a legkedvezőbb esetben is legfeljebb 25–30%-át éri el. Műszeres méréseink szerint a rendkívül kedvezőtlen eltérés oka abban rejlik, hogy az első, valóban nagy energiatartalmú impulzus után a reflektor egy további, negatív fázisú hullámsorozatot is előállít, amely az előzővel összegeződve annak kedvező hatását igen jelentős mértékben lerontja.



3. ábra

A negatív fázisú impulzus-sorozat a technológiai szempontból eddig figyelmen kívül hagyott p_{tr} komponensből származik. Ez a hullám a 3. ábra szerint belép a reflektor anyagába és eléri annak hátsó R síkját, ahol ismét részleges tükrözés, ill. közegváltás alakul ki. Az R síknál azonban $Z_2 > Z_1$; így a visszaverődő komponens (b_1) előjelet váltva éri el a Q mellső reflexiós síkot.

1. táblázat

Munkatér		Reflektor		
Közvetítő közeg	$Z_1 \times 10^5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{cm/s}$	Anyag	$Z_2 \times 10^5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{cm/s}$	$P_{re} \%$
1	2	3	4	5
Víz	1,435	Acél	46,707	94,07
		Vörösréz	40,495	93,15
		Ólom	24,607	88,98
		Alumínium	17,199	84,59
		Beton	6,700	64,72

Az itt is bekövetkező részleges átlépés, ill. tükrözés és $Z_1 < Z_2$ eredményeként további fázisváltás áll elő és b_2 ismét nyomóhullámként terjed R felé, az a_1 komponens azonban negatív előjellel visszalép a munkatérbe és összegeződik a pozitív fázisú első tükrözött impulzussal. A folyamat a valós veszteségek által meghatározott határig ismétlődik, közben azonban a munkatérben előáll az $a_1; a_2; a_3 \dots a_n$ hullámsorozat, a reflektor anyagában a $b_1; b_2; b_3 \dots b_n$, ill. a tükör hátoldalán, a környező víztérben a $c_1; c_2; c_3 \dots c_n$ impulzussor.

A (3) és a (4) összefüggés értelemszerű alkalmazásával mindhárom sorozat elemeinek a csúcsonyomása meghatározható, amely a technológiai szempontból legfontosabb helyen, a munkatérben rendre

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{4Z_1Z_2(Z_1 - Z_2)}{(Z_1 + Z_2)^3} \\
 a_2 &= \frac{4Z_1Z_2(Z_1 - Z_2)^3}{(Z_1 + Z_2)^5} \\
 a_3 &= \frac{4Z_1Z_2(Z_1 - Z_2)^5}{(Z_1 + Z_2)^7} \\
 &\vdots \\
 a_n &= \frac{4Z_1Z_2(Z_1 - Z_2)^{2n-1}}{(Z_1 + Z_2)^{2n+1}}.
 \end{aligned}$$

Az így előállított elemek mértani sorozatot képeznek, amelynek a sorhányadosa

$$q = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

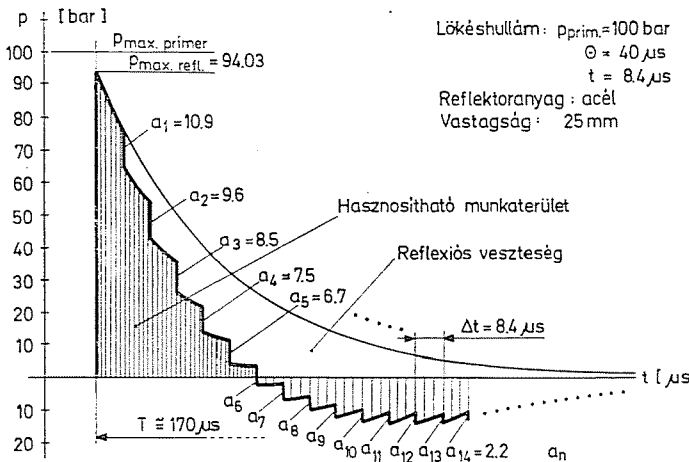
Mivel $Z_2 > Z_1$, valamennyi tag előjele negatív, így összegeződésük során egymás hatását erősítve jelentős káros munkaterületet eredményeznek. Az összegeződés jellegét az egyes elemek közötti fáziskésés ($\Delta t = 2 l/c$) határozza meg, ami viszont a tükör vastagságától és az anyagára jellemző akusztikai sebességtől függ. Vékony falú, nagy hangsebességgel rendelkező reflektorok kis fáziskésést eredményeznek, így az összegeződés közel pillanatszerűen zajlik le. Ebben a szélső esetben az eredő impulzus csúcsnyomása

$$\lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ Z_2 \gg Z_1}} \frac{a_1}{1 - q} = \frac{4Z_1Z_2(Z_1 - Z_2)}{(Z_1 + Z_2)^3} = -1;$$

azaz extrém esetben a munkatérbe ilyen módon visszajutó impulzusok a pozitív munkaterületű első reflektált lökeshullámot teljes egészében ki is olthatják.

Gyakorlati körülmények között a teljes kioltás nem következhet be, mivel a tükör adott falvastagsága mindig eredményez bizonyos fáziseltolódást, ami meggátolja a csúcsnyomások pillanatszerű összegeződését és az a_n sorozat ki-fejlődését időben jelentősen szét húzza.

Az összegeződési sorozat jellegzetes, előzőek szerint felépített képe a 4. ábrán látható. A vizsgált primer lökeshullám időállandója $\Theta = 40 \mu s$, csúcs-

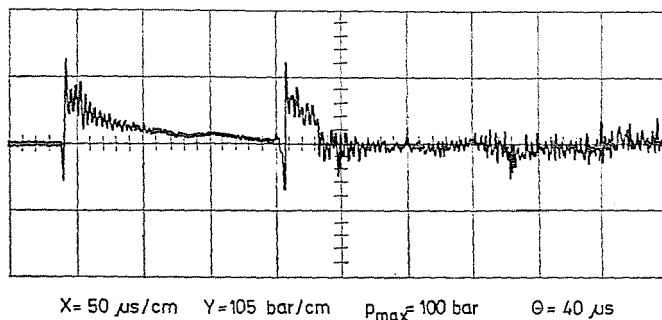


4. ábra

nyomása $p_{\max} = 100$ bar. A robbantás vízben történik, a reflektor anyaga acél, vastagsága $l = 25$ mm, az ebből adódó fáziskésés $\Delta t = 8,4 \mu\text{s}$. (Méréseink szerint az σ_n sorozatnak általában első 10–12 tagja rendelkezik kimutatható csúcsnyomással, ezért a számítógépes program is csak az első 15 tagig összegez.) Jól látható, hogy a szuperponált negatív fázisú másodlagos impulzusok adott időeltérés esetén nem befolyásolják az első tükrözött hullám csúcsnyomását, hasznos munkaterületében és hatásidejében azonban igen jelentős csökkenést idéznek elő. (Kedvezőtlen körülmények között az eredő nyomásgörbe metszheti is a t tengelyt és a hullám szívó fázisba megy át. Mivel a víz rövid időre, a lökeshullámok $10 \mu\text{s}$ nagyságrendű hatásideje alatt mintegy 50–80 bar húzófeszültség felvételére is képes, ez a jelenség nem kavitációt hoz létre, hanem kifejezetten a már megindult lemez mozgását fékezi és ezzel az alakítási folyamatot lassítja.)

A fenti lökeshullám eredeti oszcillogramja az 5. ábrán látható. Az elektrosugár vízszintes eltérítési sebessége, ill. léptéke $X = 50 \mu\text{s}/\text{cm}$, a nyomáslépték $Y = 105 \text{ bar}/\text{cm}$. Az $l = 25$ mm vastag acél síktükör előtt elhelyezett piezoelektromos, irányérzékenlen mérőszonda először a robbanótöltet felől közvetlenül érkező primer lökeshullámot, majd $T = 170 \mu\text{s}$ múlva a reflektált, szuperponálódott impulzus-sorozatot regisztrálta. A valós körülmények között rögzített nyomásprofil minden jellemzőjében megfelel a számítással előállított futásnak. Különösen szembetűnő a reflektált hullámnál a hasznos munkaterületben bekövetkező igen jelentős veszteség és a hatásideő számottevő lerövidülése. A primer hullám alapján ui. mintegy $T = 150 \mu\text{s}$ hatásideő volna várható, az eredő reflektált impulzus pozitív fázisa azonban már kb. $40 \mu\text{s}$ után végetér. Ez a körülmény technológiai oldalról azért is rendkívül kedvezőtlen, mert a robbantó alakítás valamennyi változatánál éppen az energiaközlés időtartamának a lehetséges legnagyobb mértékű meghosszabbítása a cél.

A technológiai körülmények között kialakuló effektív nyomásprofilra két további tényező is befolyást gyakorol:



5. ábra

1. A lökéshullám terjedési vesztesége a reflektor anyagában. Ennek a hatása kedvező, mivel a negatív csúcsok és impulzusok csökkentésében nyilvánul meg.
2. A reflektor tükrözés közbeni elmozdulása, rezgése, ami mindössze az a_n sorozat tagjai közötti fáziseltolódást teszi szabálytalanná, de a negatív munkaterület nagyságát összességében nem befolyásolja.

Vizsgálataink alapján megállapítható volt, hogy az ezek során feltárt többszörös reflexió káros hatása még szélsőséges, vagy eddig kedvezőnek ítélt technológiai paraméterek mellett is kimutatható, így az ellene való védekezés indokolt. Ennek legcélszerűbb módja a tükrő falvastagságának a növelése. Vastag falú reflektorok ui. — még reális méreteken és tömegben belül — az a_n sorozatban olyan mértékű fáziskésést képesek előállítani, hogy a negatív impulzusok csak az első, hasznos hullám teljes lefutása után lépnek vissza a munkatérbe. Mivel a primer és az első tükrözött hullám hatására már megmozdult munkadarab — általában mélyhúzólemez — fölött a vízterben egy kavitációs, légritka réteg alakul ki, az ide érkező negatív impulzusok fékező hatása a technológiai folyamatban már nem juthat érvényre.

Dr. Susánszky Zoltán tudományos munkatárs